



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Problemer ved udformningen af kølevandsintag

Burcharth, Hans F.

Publication date:
1981

Document Version
Accepteret manuscript, peer-review version

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Burcharth, H. F. (1981). *Problemer ved udformningen af kølevandsintag*. Paper præsenteret ved Kraftværker og Kulhavne.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

DANSK VANDBYGNINGSTEKNISK SELSKAB og DIF-ÅRH

SEMINAR OM:

Kraftværker og kulhavne, hydrauliske og vandbygningstekniske problemer.

19. februar 1981.

PROBLEMER VED UDFORMNING AF KØLEVANDSINDTAG

af

H.F. Burcharth

Laboratoriet for Hydraulik og Havnebygning

Aalborg Universitetscenter

PROBLEMER VED UDFORMNING AF KØLEVANDSINDTAG TIL KRAFTVÆRKER.

Af de mange problemer, der bør tages hensyn til ved projektering af kølevandsindtag, skal her kort omtales to problemer, nemlig det hydrauliske energitab i indtagsbygværket samt vibrationsfrembringende asymmetri i strømmingen på sugesiden af pumpen.

1. Energitab i kølevandsindtag.

Generelt er det ønskeligt at reducere energitabene mest muligt. Almindeligvis vil større tværsnit, og dermed lavere vandhastigheder, samt mere strømlinede og konvergerende forløb af de faste begrænsninger bevirke en formindskelse af det hydrauliske tab, men samtidig en fordyrelse af indtagsbygværket.

En egentlig optimeringsanalyse kan vanskeligt foretages, bl.a. på grund af usikkerheden ved et skøn over den fremtidige pris på effekt-tabet. Et forsøg på en konsekvent optimering er måske heller ikke så påkrævet, idet det viser sig, at der ud fra almindelig omtanke, erfaring og mindre modelforsøg kan findes udformninger, hvor energitabet praktisk talt er reduceret til ingen ting, uden at bygværkets pris er forøget nævneværdigt.

Med udgangspunkt i modelforsøg udført på Laboratoriet for Hydraulik og Havnebygning, AUC i forbindelse med Rambøll & Hannemanns projektering af Studstrupværkets udvidelse skal problemet belyses. Det bemærkes, at kun indtag, der ligger langs - og ikke for enden af - en tilledningskanal eller en flod, omtales, idet sådanne indtag frembyder de største hydrauliske problemer.

Studstrupværket har idag én kølevandstilledningskanal, der forsyner de to eksisterende blokke 1 og 2. De udførte modelforsøg gik i første omgang ud på at undersøge, om den eksisterende kanal (bredde 7,0 m, bundkote -3,6 m) med eller uden modifikationer også kunne forsyne de

to planlagte blokke 3 og 4, se fig. 1. Modellen var en ufortegnet Froude model i længdemålestoksforholdet 1:50 med kanalruhed svarende til fuld muslingebegrøning (Manningtal $35 \text{ m}^{1/3}/\text{sek.}$)

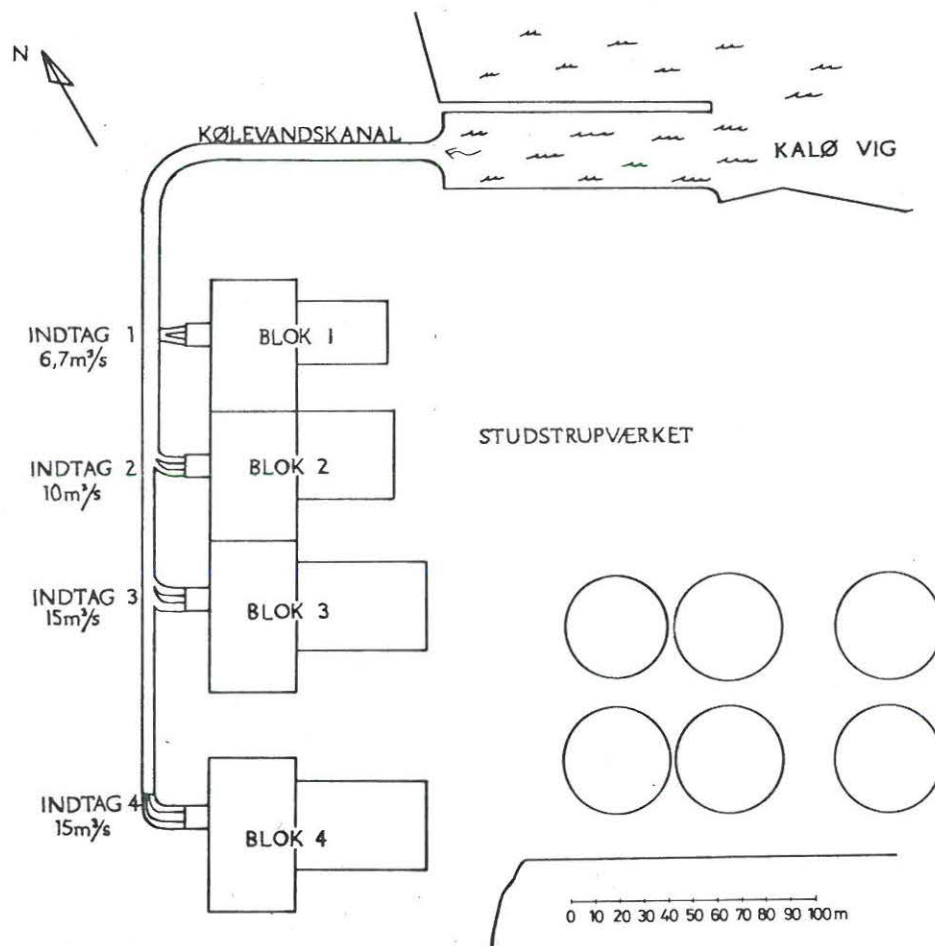


Fig. 1 Oversigtsplan, Studstrupværket

Forsøgene afslørede bl.a., at der ved fuldlastsituationer med samtidig lavvande i Kalø Vig kunne forventes store energitab i kanalen samt dårlige strømningsforhold med store energitab i indtagene. På denne baggrund blev det besluttet at forøge tværsnittet i den eksisterende kanal ved sænke bunden til kote -4,4 m. For den ny kanalstrækning fra indtag 2 og videre frem blev bredden fastsat til 6,0 m

og bundkoten til -5,0 m. Ud fra den ny kanalgeometri - som i øvrigt blev fastlagt ud fra mange andre hensyn end de rent hydrauliske - blev de hydrauliske forhold i indtagene 1, 2 og 3 nu undersøgt nærmere i en model omfattende såvel kanal som indtag. Modellen var også i dette tilfælde en ufortegnet Froude model i længdemålestoksforholdet 1:50. Forsøgsprogrammet omfattede fuldlastsituationen med max. vandføringen $46,7 \text{ m}^3/\text{s}$ i kanalen ved lavvandstande i Kalø Vig i intervallet -0,15 m til -0,90 m.

Alle indtagene har to rør, der hver via et båndfilterkammer fører til pumpetilløbskammeret, som er forsynet med en hovedpumpe af propeller-typen. Kamrene bag de to rør er under normal drift adskilt ved et lukbart skot. Energiniveauet på sugesiden af de to pumper i et indtag vil derfor være forskelligt, såfremt der er forskelle i energitabet i de to rør. Et forøget energitab bevirker en merbelastning af pumpen.

Da de to hovedpumper i hvert indtag er identiske, bør indtagene i hydraulisk henseende være udformet således, at der opnås lige store vandføringer i de to rør ved samme energitab.

Figurerne 2, 3 og 4 viser hovedudformningen af de tre indtag. Indtag 1 har skarpkantede indløb og desuden tilbagetrukket skillevæg imellem de to rør. Indtag 2 har afrundede indløb og er beliggende i en indsnævring af tilløbskanalen, der bevirker, at såvel skillevæg imellem de to rør som den nedstrøms rørvæg træder frem foran tilløbskanalvæggen. Indtag 3 har et meget afrundet og strømlinet indløb med forkant af rørskillevæg i flugt med kanalvæggen. Som det fremgår af figurerne, er også vertikalsnittene i de tre indtag forskellige. Den vigtigste forskel er her beliggenheden af indløbsrørenes bund og loft i forhold til vandspejlskoten i kanalen. De undersøgte lavvandsituationer svarer til kanalvandspejl beliggende i de på figurerne angivne vandspejlsintervaller.

Rent modelteknisk blev problemet med at holde konstant vandføring i indtagene under varierende vandstandsforhold løst ved hjælp af flydende hæverter anbragt i kamrene bag indtagsrørene.

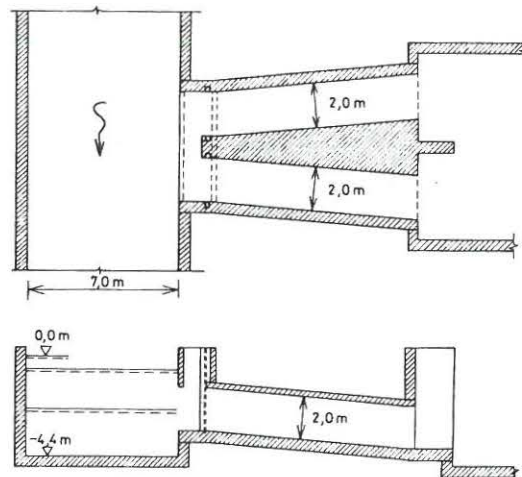


Fig. 2. Indtag 1. $6,7 \text{ m}^3/\text{s}$

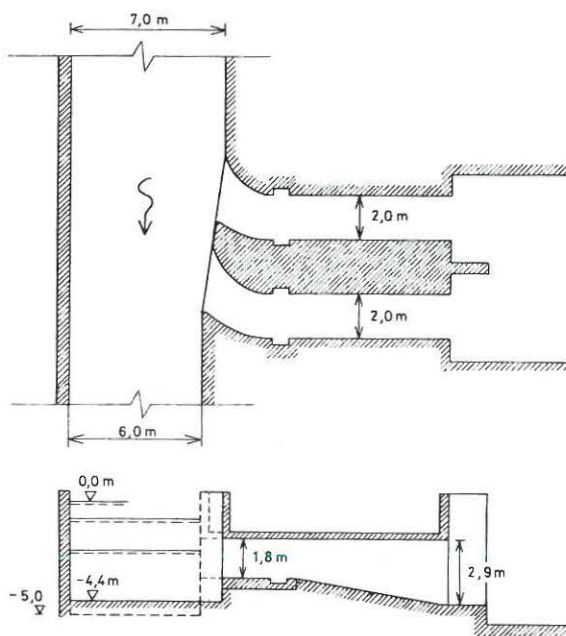


Fig. 3. Indtag 2. $10 \text{ m}^3/\text{s}$

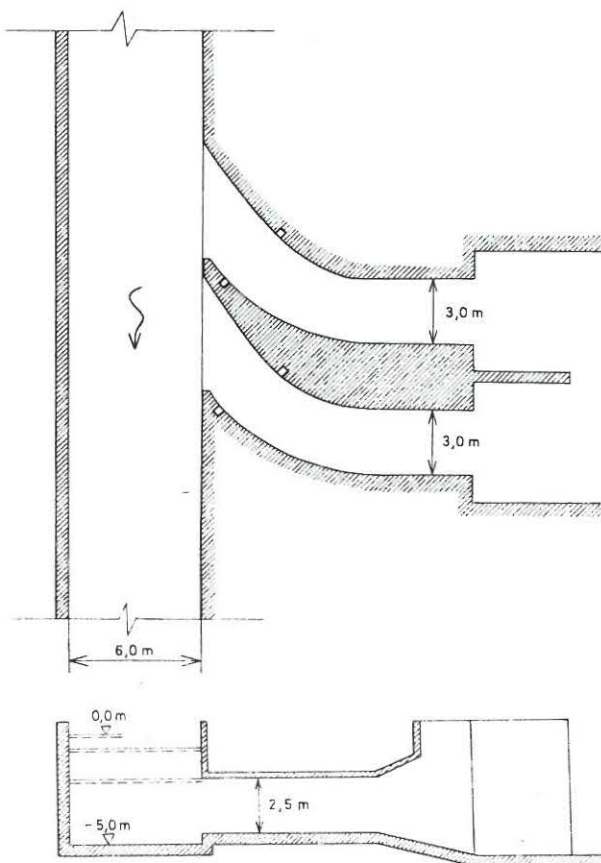


Fig. 4. Indtag 3. $15 \text{ m}^3/\text{s}$

De store forskelle i indtagenes geometriske udformning gav sig tydeligt udslag i energitabene. Fig. 5 viser de ved modelforsøgene fundne energitab målt i meter vandsøjle. Resultaterne inkluderer udvidelsestab efter rørene og svarer til ubegroet overflade. I øvrigt afspejler resultaterne ikke helt de virkelige forhold, idet der ved forsøgene blev opretholdt samme energiniveau bag de to rør i samme indtagsbygværk. Dette har dog ingen betydning for den principielle sammenligning imellem de tre indtag.

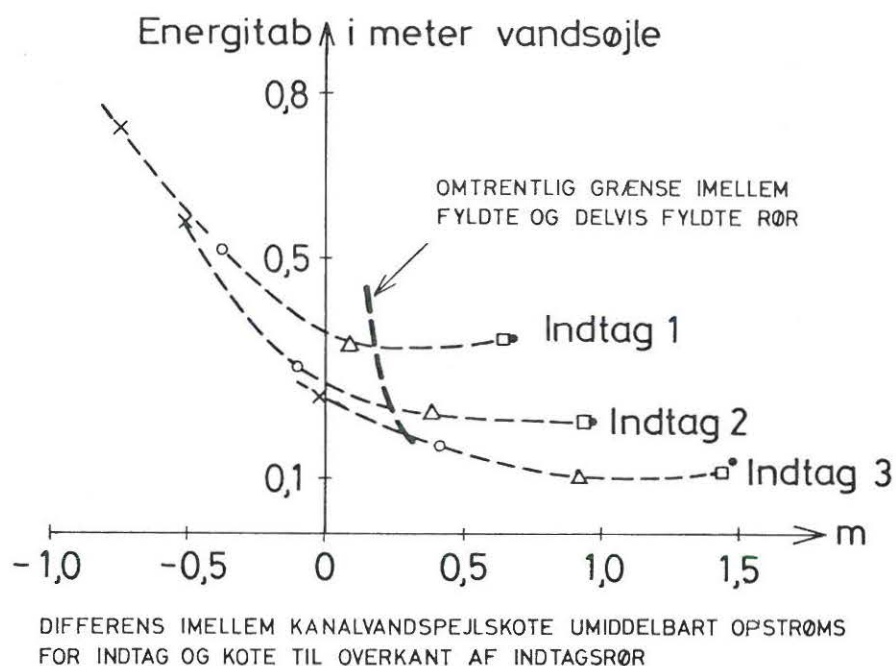


Fig. 5 Energitab i indtagsbygværker, Studstrupværket

Det fremgår af figuren, at energitabet generelt stiger voldsomt, når vandspejlet i kanalen er så lavt beliggende, at rørene kun bliver delvist fyldte. Begrundelsen er selvsagt, at det effektive rørtværsnit formindskes, hvilket giver større vandhastigheder med følgende større kontraktionsvirkninger og oven i købet mulighed for dannelse af hydrauliske spring i rørene.

Det følger heraf, at indtagene bør placeres så lavt, at rørene vil være vandfyldte, eller sagt på en anden måde, middelvandhastigheden i rørene bør holdes under en vis kritisk værdi. Ved sædvanlige indtag ligger denne værdi omkring 1 m/s, men er i øvrigt afhængig både af selve indtagsudformningen og vandhastigheden i kanalen forbi indtaget.

Figur 5 viser endvidere, at når rørene først er dykkede, vil vand-spejlsstigning i kanalen ikke ændre energitabet i det enkelte indtag væsentligt. Det fremgår også, at energitabene i de tre indtag er meget forskellige, et forhold som i hovedsagen skyldes forskelle i de geometriske udformninger, hvor indtag 1, der er det mest kantede, har et min. energitab, der er ca. 3,4 gange større end det mere strømlinede indtag 3. Dette på trods af at middelhastigheden i rørene i indtag 1 kun er ca. 85% af den tilsvarende hastighed i indtag 3. Min. energitabet i det i øvrigt strømlinede indtag 2 er dobbelt så stort som i indtag 3. Dette skyldes dog til dels, at rørtværsnittet i indtag 2 er relativt mindre med op til ca. 40% større middelvandhastigheder end i indtag 3.

Såfremt der var samme middelhastighed i rørenes mindstetværsnit i de tre indtag, ville min. energitabene i indtagene 2 og 3 stort set være ens, medens min. energitabet i indtag 1 ville være ca. fire gange så stort. Dette understreger betydningen af en strømlinet udformning.

Modelforsøgene afslørede desuden, at vandføringen i det opstrøms rør i indtagene 1 og 3 var mindre end i det nedstrøms rør. Især ved indtag 1 var der meget store forskelle. Sådanne forskelle forekommer ikke i virkeligheden, hvor de to kanaler er separerede og forsynet med hver sin pumpe, der leverer den ønskede vandmængde, men de i modellen konstaterede forskelle afslører, at energitabet i det opstrøms rør og dermed også energiforbruget i pumpen er for stort.

Årsagen til den reducerede vandføring i det opstrøms rør er separation af grænselaget langs opstrømsvæggen, hvilket medfører en hvirveldannelse, der delvis blokerer åbningen. Separationstendensen vil, alt

andet lige, være kraftigere jo mere pludselige retningsændringer vandet skal foretage, og jo større vandhastigheden er. For eksempel vil et 90° skarpt hjørne, som ved indtag 1, i praksis altid føre til hvirveldannelse, men selv ved en afrundet form, som ved indtag 3 (der dog har et mindre knæk), vil der – om end i meget mindre grad – optræde separation og hvirveldannelse, når vandhastigheden overstiger den til fuldtløbende rør svarende, se fig. 6.

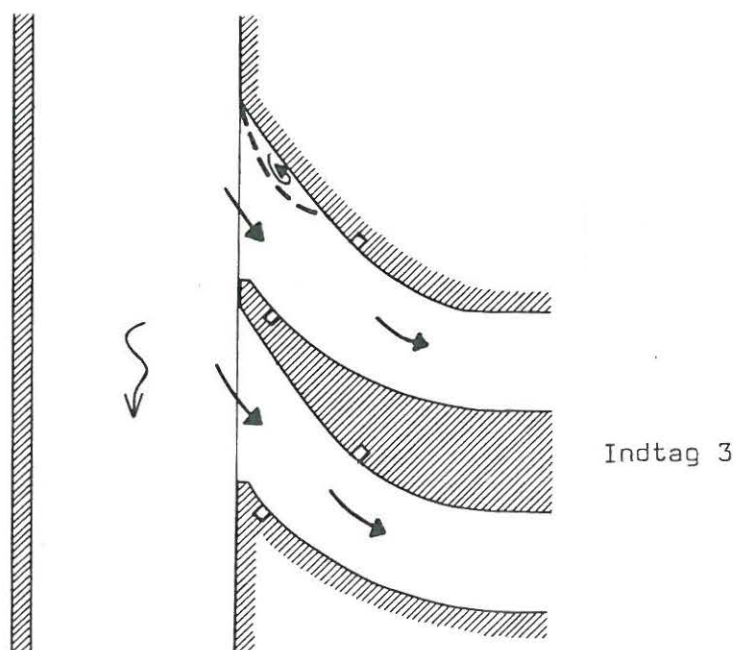
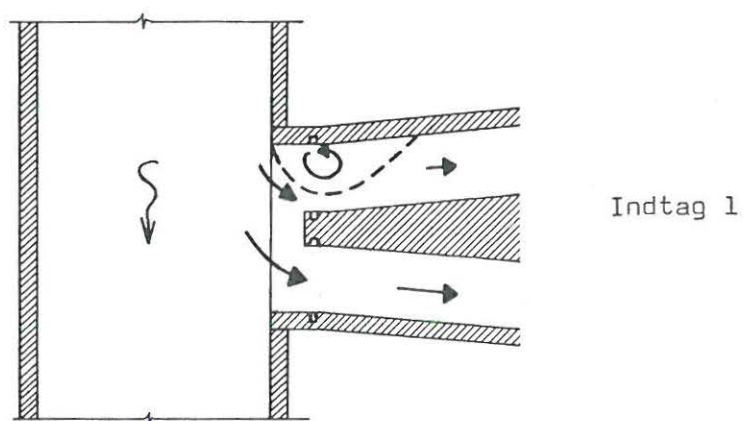


Fig. 6. Delvis blokering af opstrøms rør på grund af hvirveldannelse.

At fænomenet er almindeligt ses også af fig. 7, der viser strømforholdene omkring et indtag fra en flod, ref. 2. På trods af en meget strømlinet udforming af afgreningen ses det, at der optræder blokering af en væsentlig del af indtaget. Eksemplet viser, hvor svært det er at undgå generende separation, hvis man alene søger at løse problemet ved opstrømsvæggens forløb.

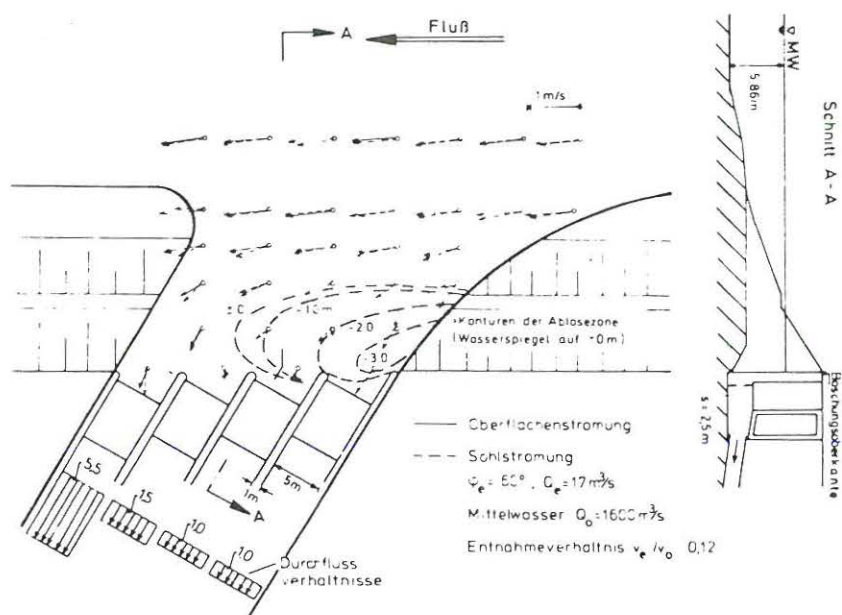


Fig. 7. Strømningsforhold ved indtagsbygværk i flod.

Ved Studstrupværkets indtag 2 fandtes ingen hvirveldannelse eller forskelle i vandføringen i de to rør. Dette skyldes til dels indtagets afrundede form, men i høj grad også indtagsfrontens drejning i forhold til kanalvæggen, der, som tidligere nævnt, medfører, at rørskillevæggen springer frem, se fig. 3. Virkningen er en trykforøgelse i indtagsåbningen, som hjælper med til at balancere centrifugalkraften på vandet, der skal føres rundt om det opstrøms hjørne. Separationstendensen reduceres hermed.

Et kraftigt trykfald igennem røret kan, selv ved indtag 1, praktisk talt hindre blokerende hvirvler, men da et sådant trykfald jo er ensbetydende med et stort energitab, er det ikke en hensigtsmæssig løsning.

To løsninger er umiddelbart indlysende. Enten må afgreningen foregå uhyre gradvist, d.v.s. med meget lille krumning af opstrømsvæggen, eller også må rørskillevæggen række ud i kanalstrømningen. En kombination af de to forslag vil ofte være den naturlige løsning.

For at forbedre forholdene ved indtag 1 blev det besluttet at forlænge rørskillevæggen ud i kanalen. Modelforsøg, hvor forskellige udformninger blev afprøvet, godtgjorde, at den på fig. 8 viste løsning med en beskeden skillevægsforlængelse, der peger lidt opstrøms, vil sikre, at energitabet i det opstrøms rør reduceres til omtrent samme niveau, som i det nedstrøms rør.

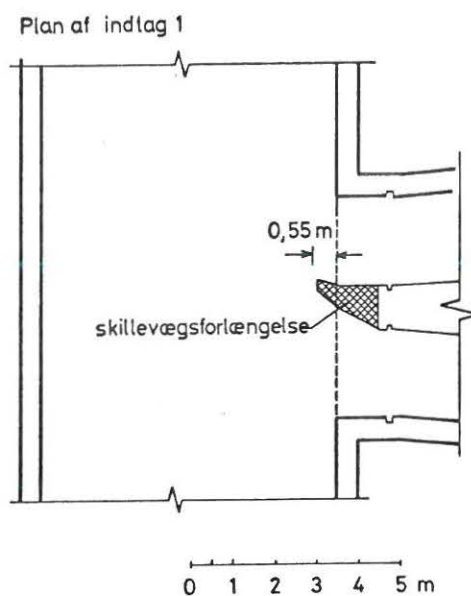


Fig. 8. Modifikation af indtag 1, Studstrupværket.

Samme løsning vil blive anvendt ved det ny indtag 3, evt. kombineret med fjernelsen af det lille knæk i den opstrøms væg, jfr. fig. 9.

Det skal bemærkes, at de to viste, relativt beskedne, men effektive skillevægsforlængelser, der begge peger noget opstrøms, ikke medfører separation og forøgelse af energitabene i de nedstrøms rør.

De omtalte modelforsøg vedr. Studstrupværket er udført på foranledning

af og i samarbejde med Rambøll & Hannemann, Århus.

Når der i det her omtalte projekt blev foretaget modelforsøg og ikke teoretiske beregninger til bestemmelse af energitabene, skyldes det, at strømningsforholdene i indtagene var udpræget tredimensionale. I tilfælde, hvor der er tale om todimensionale eller tilnærmet todimensionale strømninger, vil en teoretisk beregning være nærliggende, evt. som grundlag for et verificerende modelforsøg.

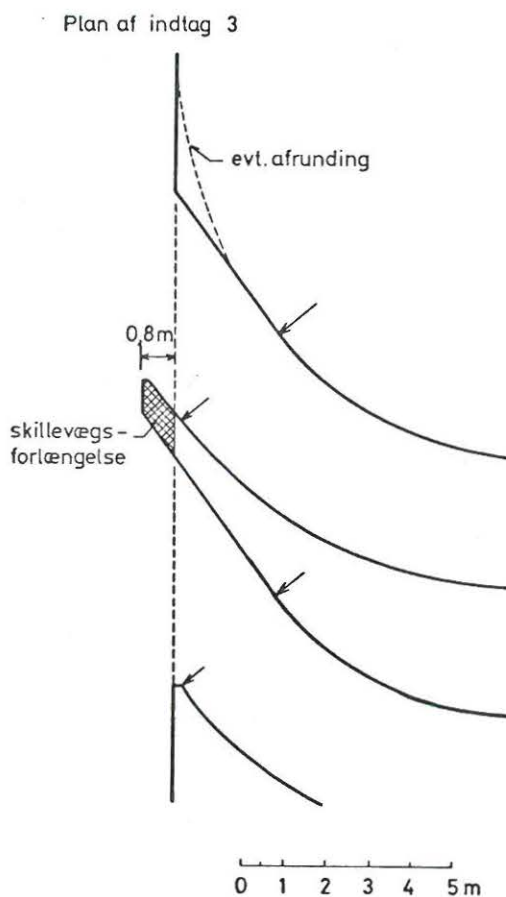


Fig. 9. Udformningsforslag til indtag 3, Studstrupværket.

2. Vibrationsfrembringende strømninger i pumpe- sugekammeret.

Hovedkølevandspumper i kraftværker er sædvanligvis propellerpumper med vertikalt monteret sugeledning. Der tilstræbes en radier, akse-symmetrisk tilstrømning til sugerøret, idet dette giver den bedste virkningsgrad i pumpe. Ofte er der dog ved projekteringen af suge-

kammeret ofret meget lidt omtanke på dette forhold. I en række tilfælde har der oven i købet på grund af uens hastighedsfordeling og hvirveldannelse (evt. med luftindsugning) været så megen asymmetri i tilstrømningen, at de deraf følgende vibrationer i pumpen har fremkaldt træthedsbrud.

Fig. 10 viser skitse-mæssigt det oprindelige arrangement i en pumpestation (ved et overrislingsanlæg), hvor asymmetri forårsagede succesivt havari på pumperne, ref. 3.

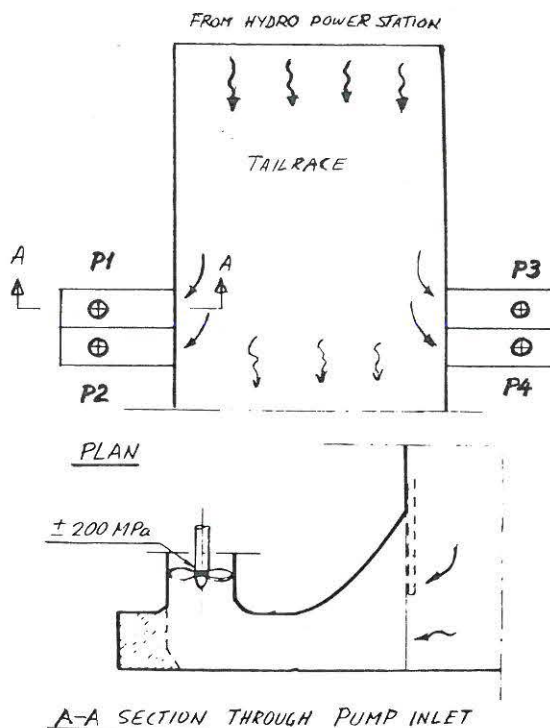
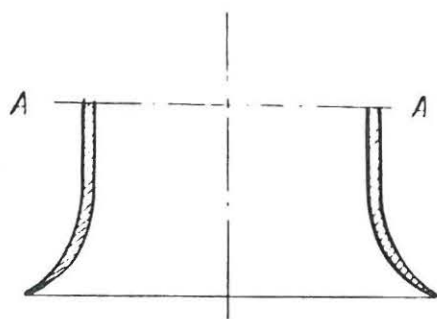


Fig. 10. Eksempel på uensigtsmæssig vandtilledning til pumper.

Fra Vattenbyggnadslaboratoriet, Älvkarleby i Sverige, vises ved Fig. 11 et eksempel på en målt uens tilstrømning ved et pumpesugerør, ref. 3.



CROSS SECTION OF SUCTION BELL

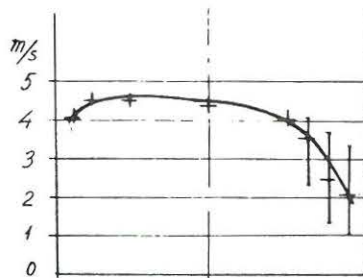
MEASURED VELOCITIES AND TUR-
BULENCE FLUCTUATIONS IN A-A

Fig. 11. Eksempel på uens hastighedsfordeling i pumpe-
sugerør.

Hvirvler i tilstrømningen til sugerøret, og dermed kvaliteten af sugekammeret, kan i modelforsøg bl.a. kontrolleres ved et såkaldt vortometer, d.v.s. en propel med lodret akse og lodrette plane blade, der monteres i mundingen af sugerøret. Asymmetri i strømningen vil afsløres ved ensidig rotation af vortometeret. Fig. 12 viser to typer vortometre fremstillet og anvendt af Vattenbyggnadslaboratoriet, Älvskarleby i Sverige, bl.a. i forbindelse med projektering af atomkraftværket Forsmark. Resultatet af dette modelforsøg fremgår af fig. 13, der viser det endelige forslag til udformning af sugekamrene, ref. 4. Man bemærker systemet af ledevægge, der forhindrer større permanente hvirvler.

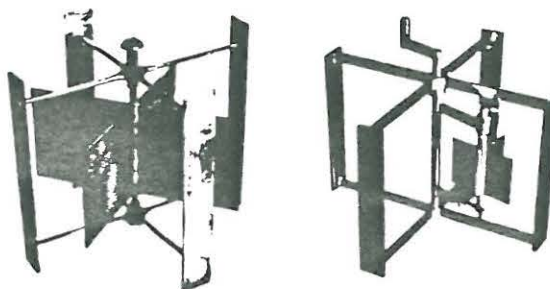
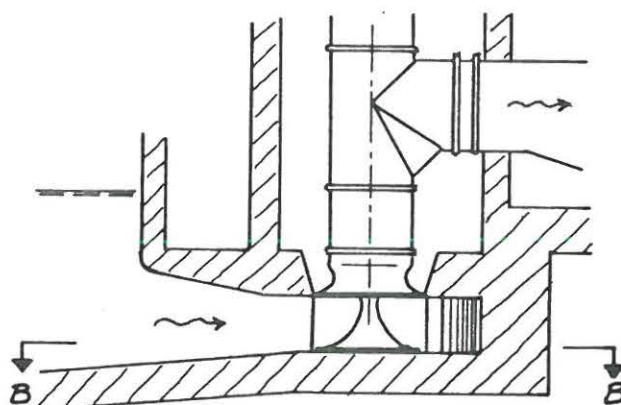


Fig. 12. Vortometre, Vattenbyggnadslaboratoriet, Älvskarleby,
Sverige.

Som et andet eksempel på sugekamre vises afslutningsvis på fig. 14 principudformningen af Studstrupværkets sugekamre. Det fremgår, at muligheden for større hvirveldannelse i røret er forhindret dels ved den i planen spejlsymmetriske, dobbeltbuede udformning af væggene i sugekammeret samt dels af ledevæggen, der gennemskærer keglen i røråbningen. Arrangementet har ikke været genstand for specielle modelforsøg, men er udført efter pumpefabrikantens specifikationer. Det er oplyst, at Studstrupværket ikke har haft vibrationsproblemer med pumperne.

LØDRET SNIT A-A



PLAN SNIT B-B

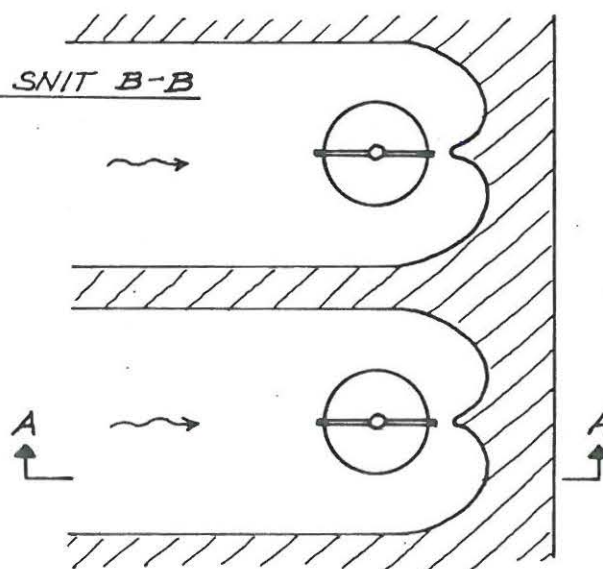


Fig. 14. Principskitse af sugekammer blok 3, Studstrupværket

REFERENCER:

1. Rapport om modelforsøg med kølevandsindtag, Studstrupværket, November 1979 samt tillægsrapport, December 1979.
Laboratoriet for Hydraulik og Havnebygning, AUC, Aalborg.
2. Mitteilungsheft Nr. 4. Wasserbauliches Versuchswesen.
DVWW, 1978.
3. Peter Larsen: Where turbulence bothers the engineer.
Vattenbyggnadslaboratoriet, Älvkarleby, Sverige, Marts 1979.
4. Forsmark kraftstation. Block 3. Tillopp til kondensorkylvattenpumper. Redegörelse för modellförsök.
Vattenbyggnadslaboratoriet, Älvkarleby, Sverige, Marts 1979.